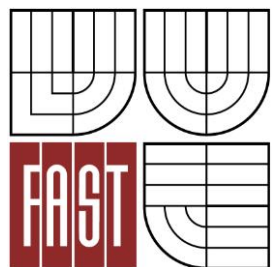




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

MODIFIKACE SLOŽENÍ CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ S ORGANICKÝM PLNIVEM ALTERNATIVNÍMI SUROVINAMI

MODIFICATION OF THE COMPOSITION OF CEMENT COMPOSITES CONTAINING ORGANIC FILLERS
VIA ALTERNATIVE RAW MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ondřej Janek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ondřej Janek
Název	Modifikace složení cementových kompozitů s organickým plnivem alternativními surovinami
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Chybík, J. Přírodní stavební materiály, Grada Publishing, 2009

Svoboda L. a kol. Stavební hmoty. Jaga Bratislava, 2004. 471 s. ISBN 80-8076-007-1.

Evans, P., D. Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held at Rydges Hotel. Canberra, Australia, 2000.

Rowell, R., M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, second edition. CRC Press, Taylor & francis Group, USA, 2012.

ČSN EN 634-1 Cementotřískové desky – Specifikace – Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN EN 634-2 Cementotřískové desky – Specifikace – Část 2: Požadavky na třískové desky spojené portlandským cementem pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí a další související české technické normy

www.cetris.cz

www.euroform.co.uk

www.sciencedirect.com

Zásady pro vypracování

Současný trend nejen v oblasti výroby stavebních hmot a prvků směřuje s ohledem na aktuální environmentální situaci k využívání alternativních surovinových zdrojů. Jednou z možností jak zužitkovat různé typy alternativních surovin, jež nenalézají dalšího uplatnění či pouze v omezené míře, je jejich aplikace při výrobě cementových kompozitů s organickým plnivem. Cílem práce je posoudit možnost částečné či úplné substituce plniva a/nebo pojiva v kompozitech s cementovým pojivem a organickým plnivem. V rámci vypracování bakalářské práce jsou požadovány následující výstupy:

1. Shromáždění základních poznatků o běžně komerčně vyráběných cementových kompozitních materiálech s organickým plnivem – výroba, suroviny, parametry, využití atd.
2. Studium odborných článků zaměřených na již probíhající výzkum v oblasti výroby kompozitů s cementovým pojivem a plnivem na organické bázi modifikovaného složení.
3. Zmapování především tuzemské situace z hlediska produkce potenciálně vhodných alternativních surovin s ohledem na možnost parciální či úplné náhrady plniva a/nebo pojiva v cementových kompozitech obsahujících organické plnivo.
4. Zhodnocení získaných poznatků z hlediska již probíhajícího výzkumu, aktuálně dostupných alternativních surovin s úvahami a doporučeními pro případný navazující výzkum, tj. výběr alternativních surovinových zdrojů, návrh receptur, zvážení parciální či plné substituce složení cementových kompozitů s organickým plnivem.

Předepsané přílohy

.....

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

V současné době se ve stavebnictví spotřebovávají převážně neobnovitelné suroviny. K dosažení dlouhodobého a trvale udržitelného rozvoje je však třeba začít využívat obnovitelné zdroje. Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití alternativních obnovitelných surovin. Dále je uveden přehled aktuálního vývoje cementových kompozitů s organickou výplní. Na základě studia odborných článků je shrnuta možnost částečné či úplné substituce plniva nebo pojiva.

Klíčová slova

Cementotřísková deska, modifikace, organická plniva, konopné pazdeří, obnovitelné suroviny, dřevní tříska

Abstract

Nowadays the construction industry consumes predominantly non-renewable raw materials. To achieve long-term and sustainable development is necessary to start using renewable sources. This bachelor thesis deals with the possibilities of using alternative renewable raw materials. Additionally, an overview of current developments cementitious composites with organic fillers is presented. Based on the study of research papers is summarized possibility of partial or complete substitution of filler or binder.

Keywords

Cement-bonded particle board, modification, organic filler, hemp shiv, renewable raw materials, wood particle

Bibliografická citace VŠKP

JANEK, Ondřej. *Modifikace složení cementových kompozitů s organickým plnivem alternativními surovinami*. Brno, 2013. 58 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
podpis autora
Ondřej Janek

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Bydžovskému, CSc. a také Ing. Tomáši Melicharovi, Ph.D. a Ing. Šárce Keprtové za pomoc při psaní této bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod	10
2. Kompozitní materiály	11
3. Suroviny	12
3.1 Pojiva	12
3.1.1 Cement	12
3.1.2 Hořčnatá maltovina	14
3.1.3 Vzdušné vápno	15
3.2 Plniva	16
3.2.1 Dřevo	16
3.2.1.1 Druhy dřevin	17
3.2.1.2 Piliny	19
3.2.1.3 Dřevitá vlna	20
3.2.1.4 Třísky	21
3.2.1.5 Štěpky	22
3.2.1.6 Vlákna	23
3.3 Přísady	23
3.3.1 Vodní sklo	24
3.3.2 Urychlovače tuhnutí	25
4. Deskové materiály pojené minerálními pojivy	25
4.1 Desky z dřevité vlny a cementu	25
4.2 Cementoštěpkové desky	26
4.3 Cementotřískové desky	27
4.3.1 Výroba cementotřískových desek	28
4.4 Cementovláknité desky	30

5.	Modifikace složení cementových kompozitů	30
5.1	Možnosti využití lehčeného kameniva při výrobě cementotřískové desky	30
5.2	Studium vlastností popílku vznikajícího jako vedlejší produkt při výrobě cementotřískových desek.....	33
5.3	Využití odpadu z výroby kamenné vlny	35
5.4	Možnosti využití konopného pazdeří při výrobě tepelně izolačních zdících tvarovek	37
5.5	Výplňové hmoty pro svislé konstrukce na bázi technického konopí	41
5.6	Desky z dřevité vlny ze směsi eukalyptu a topolu pojené cementem	43
5.7	Využití dřevěných železničních pražců v cementových kompozitech.....	46
6.	Alternativní suroviny.....	47
6.1	Len	47
6.2	Konopí.....	48
6.3	Sláma	49
6.4	Ostatní organická plniva.....	49
6.5	Příměsi	50
6.5.1	Popílek.....	50
6.5.2	Struska	51
7.	Diskuze	52
8.	Závěr.....	54
9.	Literatura.....	55
10.	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	58

1. Úvod

V současné době je ve všech odvětvích průmyslu, zejména pak ve stavebním průmyslu, vzrůstající tendence nahrazovat neobnovitelné surovinové zdroje obnovitelnými zdroji.

Pro výrobu komerčních cementových kompozitů s organickým plnivem se používá hlavně dřevo. Takové materiály slučují dobré vlastnosti dřeva a cementu. Hlavní nevýhodou je ovšem poměrně vysoká cena vstupních materiálů. Dřevěná plniva se získávají z kmenů poražených stromů, což znamená, že je nutno dřevní hmoty nejprve vyrobit. Tuto část produkce lze zčásti či úplně obejít použitím alternativních organických plniv. Použitím alternativních rychle obnovitelných surovin ve stavebních materiálech znamená příležitost ke snížení výrobních nákladů a eliminaci ekologické zátěže. Velkou výhodou alternativních plniv je jejich rychlý růst. Ve srovnání se dřevem je jejich perioda obnovy ve zdejších klimatických podmínkách obvykle jednoletá, zatímco dřevo roste několik desítek let. Dřevo se ve stavebnictví dá využít mnohem lépe než jen na výrobu plniv. Uplatnění nachází při výrobě prken, fošen, hranolů, trámů, desek atd. V těchto případech je dřevo nenahraditelné.

Z dřevocementových kompozitů se vyrábějí zejména desky, které najdou uplatnění při stavbě stěn a příček, podhledů, fasád, podlah apod. Dále se také vyrábějí dutinové tvárnice, které slouží jako ztracené bednění pro výplňový beton a současně jako nosič tepelné izolace a omítky. Speciální tvárnice lze využít při budování protihlukových stěn kolem dálnic, železničních koridorů, letišť nebo zvukové oplocení výrobních areálů, vzhledem k jejich vynikající neprůzvučnosti a zvukové pohltivosti. Obecně mají dřevocementové kompozity dobrou odolnost vůči mrazu a ohni. [1]

2. Kompozitní materiály

Pod pojmem kompozitní materiály rozumíme heterogenní materiály, složené ze dvou nebo více fází. Vlastnosti kompozitních materiálů souvisí s jejich strukturou nebo s mezifázovými vztahy (vnitřním povrchem). Výsledné vlastnosti kompozitního materiálu ovlivňují jednotlivé fáze jednak svými vlastními charakteristikami a jednak vzájemnou interakcí. Tyto interakce mohou mít povahu fyzikální, fyzikálně-mechanickou nebo také chemickou. Interakce fází přináší nové vlastnosti, které nemohou být dosaženy žádnou složkou samostatně. Kompozitní materiály umožňují zvýraznit výhodné vlastnosti jednotlivých složek a potlačit jejich nedostatky. Pro kompozitní materiály je charakteristický tzv. synergetický účinek. To znamená, že vlastnosti kompozitu jsou vyšší, než by odpovídalo pouhé sumaci vlastností jednotlivých složek.

Parametry ovlivňující vlastnosti kompozitů:

- Vlastnosti fází (včetně tekuté fáze – póry), tj. mechanické vlastnosti fází a jejich poměr (pevnost, moduly pružnosti, Poissonův součinitel, pracovní diagram, mezní přetvoření) a anizotropie vlastností jednotlivých fází.
- Objemové zastoupení fází, jejich geometrický tvar a jejich geometrické uspořádání v systému včetně pórů, tj. třeba množství, orientace a průměrné vzdálenosti dispergované fáze.
- Interakce jednotlivých fází a vlastnosti styku, tedy schopnost přenosu zatížení z matrice do vyztužujících částic a naopak neboli soudržnost na kontaktu fází.
- Interakce s okolním prostředím, která závisí do značné míry na předchozích třech parametrech.
- Historie materiálu i fází od jejich vzniku, která zahrnuje především časové faktory, technologii výroby apod.[2]

3. Suroviny

Pod pojmem surovina zpravidla označujeme surovou hmotu. Obvykle se jedná o dosud nijak nezpracovanou materii, která se nachází v původním přírodním stavu a tvaru. Podle chemické povahy můžeme suroviny rozdělit na organické a anorganické. Nejpoužívanější organickou surovinou ve stavebnictví je dřevo. Dále můžeme suroviny dělit na obnovitelné a neobnovitelné. Ze surovin se konkrétním technologickým postupem vyrábí výrobky, jež se ve stavebních konstrukcích neužívají jednotlivě, ale vzájemně se spojují s jinými druhy výrobků.[3]

Dále budou popsány suroviny, které se běžně používají při výrobě cementových kompozitů s organickým plnivem.

3.1 Pojiva

Jedná se organické nebo anorganické látky, které mají schopnost spojovat jiné sypké nebo kusové materiály v jeden pevný celek. Spolu s plnivem vytvářejí směs, která má vhodnou tvárnost a po zatvrdnutí dostatečnou pevnost spolu s jinými požadovanými vlastnostmi. Ve stavebnictví se používá pojem maltovina. Je to anorganické pojivo, vyráběné z vhodných surovin pálením na vysokou teplotu (mnohdy až do meze slinutí). Slínek se poté musí spolu s přísadami rozemlít na požadovanou jemnost. Po zamíchání s vodou a plnivem vznikne směs, která tuhne a tvrdne za vzniku nových chemických sloučenin. Hlavním nositelem pevnosti cementového kompozitu s organickým plnivem je pojivo. Pro dosažení dobrých mechanických vlastností výrobků se musí přidávat více pojiv, kterých bývá kolem 25 %. [4]

3.1.1 Cement

Ve stavebnictví je to nejběžnější a nejpoužívanější pojivo, a proto se také používá k pojení organických plniv. Výhodou cementu je, že organická plniva nijak nedegraduje. Dobře spolupracuje i s polymerními plnivem, protože obě látky jsou zásadité povahy. Cement je hydraulické pojivo, které po smíchání s vodou tuhne a tvrdne. Po zatvrdnutí si zachovává svoji pevnost a stálost také pod vodou.

Cementy se podle normy ČSN EN 197-1 dělí podle složení na CEM I - portlandský cement, CEM II - portlandský cement směsný, CEM III - vysokopecní cement, CEM IV - pucolánový cement a CEM V - směsný cement.

Při výrobě cementových kompozitů se ale využívá nejvíce cement portlandský. Chemické složení portlandského slínku se pohybuje v rozmezí: 61 – 68 % CaO, 20 - 24 % SiO₂, 4 - 8 % Al₂O₃, 2 - 4 % Fe₂O₃, 0,1 - 0,3 % P₂O₅, 0,5 - 6 % MgO, 0,2 až 1 % SO₃, 0,8 - 1,5 % Na₂O + K₂O, 0,1 - 0,5 % TiO₂. Celkový obsah aktivního CaO a SiO₂ musí být vyšší jak 50 %. Některé oxidy působí v cementu negativně, a proto se musí regulovat jejich množství, např. MgO max. 5 %. Při vyšším obsahu MgO dochází při hydrataci k objemovým změnám. Dále se musí omezovat obsah alkálií, který nesmí překročit hodnotu 2 %. Alkálie mohou způsobovat alkalické rozpínání betonu při reakci s aktivním SiO₂ obsaženým v kamenivu. Proces tvorby slínkových minerálů je velmi složitý, a proto uvedu jen základní přehled slínkových minerálů:

- alit - trikalciumsilikát - C₃S, průměrný obsah je 63 %, obsah v rozmezí od 45 do 80 %,
- belit - dikalciumsilikát - C₂S, průměrný obsah je 20 %, obsah v rozmezí od 5 do 32 %,
- trikalciumaluminát - C₃A, většinou 8 %, v rozmezí od 4 do 16 %,
- brownmillerit - kalciumaluminátferit - C₂(AF) nebo C₄AF, průměrný obsah je 7 %, v rozmezí od 3 do 12 %,
- volné CaO, v průměru 1 %, v mezích od 0,1 do 3 %,
- volné MgO (periklas), většinou 1,5 %, rozmezí od 0,5 do 4,5 %.[5]

Tab. 1: Normalizované a počáteční pevnosti cementů po 2, 7 a 28 dnech, počátek tuhnutí a objemová stálost. Třída pevnost je udávána v MPa po 28 dnech. Rychlost vývoje počátečních pevností: N znamená normální a R je rychlý.[6]

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku [MPa]				Počátek tuhnutí [minut]	Objemová stálost (rozepnutí) [mm]
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů			
32,5 N	---	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	---				
42,5 N	≥ 10,0	---	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	---				
52,5 N	≥ 20,0	---	≥ 52,5	---	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	---				

3.1.2 Hořečnatá maltovina

Jedná se o vzdušnou maltovinu, která byla poprvé vyrobena v roce 1867 Sorelem a je nazývána Sorelovým cementem. Vyrábí se smícháním kausticky páleného magnezitu nebo dolomitu s roztokem $MgCl_2$ vhodné koncentrace. Po zatvrdnutí tvoří kompaktní hmotu šedobílého až červeného zabarvení a je elektricky vodivá. Má velmi vysokou vazební schopnost i s poměrně velkým množstvím plniv (až 1 : 20), kdy vlastně již přebírá vlastnosti plniva. Plniva se mohou použít organická nebo anorganická. K organickým patří dřevěné piliny, lněné a konopné pazdeří a korková drť. Organická plniva není potřeba předem mineralizovat, protože maltovina obsahuje soli, které se sráží v jejich pórech. Začátek tuhnutí je v rozmezí od 40 – 240 minut a konec tuhnutí musí nastat v průběhu 2 – 6 hodin. Nejvyšší pevnost v tlaku lze dosáhnout při smíchání s pískem v poměru 1 : 3, kdy po 28 dnech dosahuje hodnoty 60 – 100 MPa.

Mezi nevýhody, které zabránily většímu komerčnímu využití, patří malá odolnost vůči vlhkosti a teplotám nad 100 °C, snadná výkvětovitost a korozivní účinky na kovové

materiály. Proto se v současnosti již moc nepoužívá a je spíše nahrazována vhodnějšími látkami. [4]

3.1.3 Vzdušné vápno

Vzdušné vápno je v podstatě technický název pro oxid vápenatý s různým obsahem oxidu hořečnatého. Vyrábí se pálením poměrně čistých vysokoprocentních vápenců či dolomitických vápenců pod mez slinutí při teplotách cca 1000-1250 °C. [4]

Podle obsahu MgO rozdělujeme vzdušné vápno na:

- vápno vzdušné bílé s obsahem MgO pod 7 %,
- dolomitické vzdušné vápno s obsahem nad 7 % MgO.

Vzdušné vápno bílé i dolomitické se dělí do 5 tříd jakosti podle obsahu obou charakteristických oxidů. Vápno páté třídy není určeno pro stavební účely, protože obsahuje méně než 85 % CaO. [4]

Hustota čistého vápna se pohybuje kolem $3200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, objemová hmotnost je v rozmezí $800 - 1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a u mletého vápna je $700 - 900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dalšími charakteristickými vlastnostmi vzdušného vápna jsou hašení, vydatnost, aktivita a plasticita. [4]

Vzdušné vápno se ve stavebnictví nejčastěji používá pro výrobu malt pro zdění a pro omítání. Vápno dodává maltám především plastičnost a přilnavost k podkladu. Také se používá pro výrobu pórobetonů, pěnasilikátů, plynosilikátů a k výrobě vápenopískových cihel. V současnosti se používá i pro průmyslovou výrobu suchých omítkových směsí. Vápenné mléko (vápno s přebytkem vody) se používá na povrchové nátěry stěn místností nebo prostorů, kde se chceme zbavit bakterií a plísní, příp. s minerálními barvivy pro barevné venkovní nátěry. [4]

Vápno má velmi nepříznivé účinky na lidský organismus - leptá kůži, vniká do dýchacích cest a je nebezpečné pro oči. Proto při manipulaci s ním je potřeba zachovávat veškerá bezpečnostní opatření, používat respirátory, rukavice. [4]

3.2 Plniva

Organická plniva se do cementových kompozitů přidávají zejména kvůli vylehčení. Vzhledem k jejich přirozeně velké pórovitosti mohou výsledné prvky nepřímo vylehčovat. Výhodou organických plniv je nižší měrná hmotnost než u anorganických plniv. Pomocí vysoké mezerovitosti materiálů můžeme docílit dalšího přímého vylehčení. Důvod pro používání organických plniv je jejich obnovitelnost. Šetříme tím neobnovitelné zdroje a zejména půdu, kterou bychom museli zabrat kvůli vytěžení neobnovitelných surovin. Organické suroviny můžeme pěstovat co nejbližší místa zpracování, a tím snižovat náklady na transport. [7]

Organická plniva používaná pro výrobu stavebních dílců mohou být přírodní nebo umělá. Hlavními zástupci přírodních plniv jsou dřevěné třísky, piliny, hobliny a konopné pazdeří. Mezi umělá organická plniva řadíme polymerní látky např. syntetický polystyren. Nejvýznamnější jsou přírodní organická plniva. V minulosti to byly zpravidla průmyslové odpady ze zpracování dřeva a jiných rostlinných produktů. Z ekonomického hlediska je to výhodné, ale přináší to i určité potíže, jako je různorodá jakost suroviny nebo její dostupnost. Proto se často přistupuje k záměrné výrobě organických výplní i z přírodních materiálů.[4]

Nevýhodou organických plniv v cementových kompozitech je obsah látek na bázi celulózy. Jedná se o polysacharid složený z 1000 – 3000 molekul glukózy. Glukóza je jednoduchý sacharid, který zpomaluje nebo dokonce zastavuje hydrataci cementu a snižuje konečné pevnosti kompozitu. Zpomalení hydratace cementu při výrobě dřevocementových desek je velmi nežádoucí. Je tu riziko, že desky nezískají dostatečné manipulační pevnosti a při manipulaci se poruší. [4]

3.2.1 Dřevo

Dřevo se jako stavební materiál v historii lidstva používá po celou dobu. Vzhledem k tomu, že Česká republika je z 35 % zalesněna, se jedná o velmi dostupnou surovinu. Může se těžit v místě spotřeby, a tím snížit náklady na dopravu. Také je to obnovitelná surovina, která neustále dorůstá.

Ačkoliv poměr nízké objemové hmotnosti a vysoké pevnosti (v porovnání s ostatními stavebními materiály) zajišťuje dřevu výborné předpoklady pro použití v konstrukcích, často se hovoří o těchto překážkách bránících jeho širšímu využití:

- hygroskopicitě (schopnost látek pohlcovat vlhkost) a s ní spojených změnách rozměrů při změně vlhkosti,
- nehomogenitě (různorodost struktury, kvality a vlastností),
- anizotropii (nestejnoměrnost vlastností v různých směrech – mechanické vlastnosti v podélném směru několikanásobně převyšují vlastnosti v příčném směru).

Hlavním důvodem, který vedl k vývoji materiálů na bázi dřeva, byla snaha o výrobu produktů využívajících příznivé vlastnosti dřeva (izolační vlastnosti, snadná obrobitelnost, příznivé působení na prostředí a nízké výrobní nároky na energii) a zároveň překonávajících jeho nevýhody. [8]

3.2.1.1 Druhy dřevin

Dřeviny rozdělujeme do dvou skupin – jehličnaté a listnaté. Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v České republice je uvedeno v tabulce č. 2. S ohledem na makroskopickou stavbu dřeva rozlišujeme dřeviny na bělové a jádrové. K bělovým řadíme dřeviny s vyzrálým dřevem, u nichž není jádro barevně odlišeno. Dřeviny jádrové jsou odolnější proti vlhkosti a hnilobě, neboť obsahují více pryskyřičných látek, tříslovin, barviv, apod. [4]

Tab. 2: Zastoupení jednotlivých dřevin v ČR [4]

Dřeviny	Jednotlivý druh	Procentuální podíl	
		Jednotlivě	Celkově
Jehličnaté	Smrk	52,1	76,1
	Borovice	15,1	
	Jedle	7,5	
	Modřín	1,3	
	Ostatní	0,1	
Listnaté	Buk	13,8	23,9
	Dub	4,2	
	Topol	1,2	
	Ostatní	4,7	

Jehličnaté dřeviny jsou většinou tzv. měkké dřeviny nebo tvoří přechod k měkkým dřevinám. Rostou 80 až 100 let. Dosahují výšky 25 až 40 m a průměru kmene až 2 m. Ve stavebnictví se nejvíce používá smrk, jedle a borovice. [4]

Nejčastěji se používá dřevo smrkové. Je bílé až nažloutlé, dobře štípatelné, měkké a lehce zpracovatelné, lehké, pružné, mírně smolnaté. V suchu je trvanlivé, ve vlhku rychle hnije. Smrk se používá jako konstrukční dřevo u staveb, které nejsou vystaveny vlhkému prostředí. [4]

Z hlediska pravidelnosti růstu je jedlové dřevo zpravidla lepší jakosti než dřevo smrkové, ale je náročnější na zpracování. Je měkké, šedobílé, velmi dobře štípatelné, pružné, ohebné, nosné. Má menší obsah pryskyřice a je méně trvanlivé než smrkové a borové dřevo. Jedlové dřevo často šediví a černá. Použití ve stavebnictví je obdobné jako u dřeva smrkového. [4]

Borové dřevo je poměrně hodně sukovité. Společně s modřínem patří mezi jádrová dřeva. Má načervenalou barvu. Pro vysoký obsah pryskyřice je dobře odolné proti vlivům vlhkosti. Je poměrně křehké a méně pružné. Nemělo by se používat na konstrukce namáhané ohybem. Osvědčuje se v prostředí, kde se střídá vlhko a sucho. Používá se zejména ve stavebním stolařství na venkovní dveře, okenní rámy, vrata atd. [4]

Modřínové dřevo je polotvrdé. Obsahuje značné množství pryskyřice. Je to dřevo trvanlivé a poměrně dobře vzdoruje střídání sucha a vlhka. Modřínové dřevo je světle žluté, stářím červená, hnědne a tmavne. Je poměrně vzácné a cenově nákladné. [4]

Listnaté dřeviny se dělí na měkké (lípa, topol, vrba) a na tvrdé (dub, jasan, jilm, akát). Rostou 120 až 150 let a dosahují výšky 20 až 25 m (dub až 60 m) a průměru kmene až 1,5 m (dub až 3 m). [4]

Dřevo dubové je tvrdé, těžké, houževnaté a trvanlivé. Má velkou pevnost v tlaku i tahu. Dubové dřevo vydrží na suchu 500 až 700 let a ve vodě je jeho životnost prakticky neomezená. Dubové dřevo je v porovnání s měkkými dřevinami značně odolné proti ohni. [4]

Bukové dřevo je měkkší než dřevo dubové a není tak houževnaté. Špatně se opracovává. Není vhodné do vlhkého prostředí. Bukové dřevo se používá na výrobu dýh a překližek. [4]

3.2.1.2 Piliny

Piliny se pro výrobu kompozitů s organickým plnivem používají nejdéle. Pro dobrou soudržnost s cementem se musí piliny zbavit prachu a musí se mineralizovat. Velmi dobré vlastnosti mají katrové piliny (odpad z rámových pil), u kterých je více zachována jejich vláknitá struktura. S pilinami jako plnivem se v České republice začalo experimentovat již během Druhé světové války. Již v roce 1941 byl ve Zlíně postaven první monolitický dům z cementového kompozitu s pilinami. Směs smrkových a borových pilin, hlíny a portlandského cementu (v hmotnostním poměru 1:1:1) se pěchovala do bednění. Výsledky však nebyly uspokojivé, a tak se od monolitické výstavby z organických směsí upustilo. Kompozity se vyráběly z pilin a cementu v poměru 1:2 – 1:6. Spotřebovalo se však velké množství cementu, který je drahý, a tak se přidávaly zejména popílky, struska a další příměsi. Při použití příměsí se musí dát pozor, aby se hydratace cementu příliš nezpomalila. Piliny totiž obsahují celulózu, která působí retardačně. Vzhledem k velké hygroskopičnosti pilin, je obsah trvalé vlhkosti 10 až 15 %. Při výrobě je třeba dát pozor, aby piliny neodebíraly vodu potřebnou na hydrataci cementu. Proto je výhodné piliny před výrobou nasýtit vodou. Piliny poté při hydrataci cementu vodu uvolňují. Nevýhodou

je, že piliny způsobují velké objemové změny. Tomu se dá předejít urychleným tvrdnutím cementu. Dříve se používaly piliny a hobliny jako odpad z výroby. V současné době ale pily přešly na bezodpadovou výrobu a piliny spalují. Teplo se používá na sušení dřeva. Piliny se tedy záměrně vyrábějí z celých kmenů, nebo se využívají větve a další části stromů, které jsou pro výstavbu z masivního dřeva nepoužitelné. U těchto částí stromů je často problém s odkorněním, a tak se od výroby z nich taky upouští. [7]



Obr. 1: Dřevěné piliny [23]

3.2.1.3 Dřevitá vlna

Jedná se o organickou výplň, která je ještě méně narušená než hobliny. Dřevitá vlna je velmi kvalitní a je vyráběná speciálním hoblováním ze zdravých a rovných smrkových kmenů, pokud možno bez přítomnosti suků. Dřevitá vlna se využívá při výrobě desek pojených cementech – Heraklit. Další využití dřevité vlny je na ekologické obalové a fixační materiály a také pro výrobu provazců a podpalovačů. [7]



Obr. 2: Dřevitá vlna [24]

3.2.1.4 Třísky

Třísky mají srovnatelné vlastnosti jako piliny až na to, že zůstává více zachována jejich vláknitá struktura díky jejich dvojrozměrné dimenzi. V kompozitech tedy působí jako rozptýlená výztuž, a tím zvyšují tahové pevnosti. Pevnost v tahu u třískových kompozitů je ovlivněna pevností jednotlivých slepených kontaktních ploch třísek. Při větších poměrech délky a tloušťky třísek vzrůstá velikost jejich překrývajících se částí a pojivu je umožněn větší přenos sil. Použití větších třísek nemusí být vždy výhodné. Pro výrobky s povrchovou úpravou je naopak vhodnější použití jemnějších třísek, které vytvářejí hladší povrch. S vyšším obsahem jemných třísek (zejména v povrchových vrstvách) dochází ke snížení potenciálního stresového napětí. Drobné třísky vyplňují dutiny v místech s nižší hustotou, a tím přispívají ke tvorbě rovnoměrnějšího hustotního profilu. Třísky se vyrábějí převážně z měkkých nebo rychle rostoucích dřevin. Vhodné dřeviny jsou smrk, jedle, topol, bříza, borovice a buk. Obecně lze pro výrobu třísek použít dřeva s hustotou v rozmezí $350 - 700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Nižší hustota dřevin snižuje výsledné pevnosti kompozitu.

Další důležité parametry dřevin pro výrobu třísek jsou roztřískovatelnost, podíl bělí a jádra a pH dřeviny. Další významná vlastnost je obsah doprovodných látek zejména terpeny, pryskyřice (jehličnany), třísloviny (listnáče), vosky, pektiny a anorganické látky. [8]



Obr. 3: Dřevěné třísky [8]

3.2.1.5 Štěpky

Dřevní štěpka je strojně nadrcená a zakrácená dřevní hmota, délka štěpky se pohybuje od 3 do 250 mm. Získává se z odpadů při průmyslovém zpracování dřeva. Pro výrobu dřevocementových desek se používá nejčastěji bílá štěpka. Ta se získává z odkorněného dřeva, obvykle z odřezků při pilařské výrobě. Na této štěpce se nikde nenachází kůra na rozdíl od hnědé štěpky.[9]



Obr. 4: Dřevní štěpky [8]

3.2.1.6 Vlákna

Pro výrobu dřevních vláken je nejdůležitější vybrat dřeviny, které mají vhodnou délku dřevních vláken, dobrou rozvláknitelnost a nízký obsah ligninu a hemicelulózy. Vhodné dřeviny jsou např. smrk, borovice, topol, buk a bříza. Dřevní vlákna je výhodnější vyrábět z jehličnatých dřevin, protože listnaté dřeviny mají různorodější strukturu. Jehličnaté dřeviny se skládají hlavně z cévic. Listnaté dřeviny obsahují kromě cévic ještě cévy a libriformní vlákna, dále také obsahují větší podíl parenchymatických (zásobních) buněk. U některých listnáčů může být podíl parenchymatických buněk až 15 % naproti tomu u jehličnatých je to pouze 1 %. Z tohoto důvodu se preferuje hlavně jehličnaté dřevo a převážně smrk.[8]



Obr. 5: Dřevní vlákna [8]

3.3 Přísady

Přísady do cementových kompozitů mohou být tekuté nebo práškové a ovlivňují výsledné vlastnosti cementové kaše po stránce chemické nebo fyzikální. Přísady se dávkuje vzhledem k množství cementu ve velmi malém množství. Udává se hodnota max. 50 g na 1 kg cementu, což je max. 5 %. Přísady působí především na cementovou suspenzi a jsou závislé na druhu cementu. Čím je vyšší měrný povrch cementu, tím je větší reakční plocha a reakce probíhají rychleji. Na účinnost přísad má také vliv mineralogické složení cementu, zejména obsah alkálií.[5]

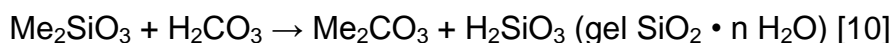
3.3.1 Vodní sklo

Ve stavebnictví se vodní sklo používá často k mineralizaci organických plniv. V současné době se vyrábí nejčastěji dvěma metodami.

První je potřeba vyrobit křemičitan sodný nebo draselný. Toho se dá docílit tavením sklářského písku ve sklářské vaně při teplotě 1400 - 1600 °C za působení alkalických tavidel – soda (oxid sodný) nebo potaš (oxid draselný). Poté se roztavená sklovina musí prudce ochladit, aby popraskala na co nejmenší části. Sklovina se za pomoci hydroxidu sodného nebo draselného a vody rozpustí. To se provádí za zvýšené teploty a tlaku. Takto se dají připravit všechny druhy vodních skel. Druhým způsobem je výroba přímo hydrotermální reakcí. V autoklávu se za pomoci hydroxidu sodného nebo draselného, vody, teploty a tlaku přímo rozpouští křemičitý písek. Touto metodou bohužel nelze vyrobit určité druhy vodních skel. [10]

Složení vodního skla bývá nejčastěji charakterizováno křemičitým modulem M, což je molární poměr $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ pro sodné sklo nebo $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ pro draselné sklo. Hodnota křemičitého modulu běžně vyráběných typů vodního skla leží obvykle v rozmezí 1,6-4,1. Vedle modulu se k charakterizaci vodního skla používá nejčastěji jeho hustota, která poskytuje informaci o koncentraci roztoku i o složení výchozího skla, dále viskozita a rovněž hodnota pH. Viskozita vodního skla závisí na jeho koncentraci a na hodnotě křemičitého modulu výchozího skla. Vodní skla, jakožto roztoky solí silné zásady a slabé kyseliny jsou značně alkalická. [10]

Vytvrzování vodního skla je způsobeno tvorbou gelu kyseliny křemičité, nejčastěji v důsledku reakce alkalického křemičitanu s oxidem uhličitým, resp. kyselinou uhličitou, podle následujícího schématu:



3.3.2 Urychlovače tuhnutí

V cementových kompozitech s organickou výplní se ve velké míře používají urychlovače tuhnutí, protože umožňují urychlit výrobu. Potlačují negativní vlastnosti organických plniv, zejména glukózy, která zpomaluje hydrataci cementu. Nejčastěji se používá chlorid vápenatý nebo síran hlinitý.

4. Deskové materiály pojené minerálními pojivy

Deskové materiály pojené minerálními pojivy jsou nejstarší typy aglomerovaných materiálů, které se začaly vyrábět již ve třicátých letech minulého století. Celulózová vlákna nebo dřevěné třísky tvoří zpevňující prostorovou síť v převažující amorfni tvrdé složce. Většinou se používá jako pojivo cement nebo sádra. Vzhledem k většímu množství těchto pojiv mají desky značnou tvrdost, ale i značně vyšší hmotnost a obtížnost obrábění. Výhodami jsou především vysoká odolnost proti působení vlhkosti a požární odolnost. [8]

4.1 Desky z dřevité vlny a cementu

Podle jednoho z prvních výrobců desek z dřevité vlny jsou stále všeobecně nazývány původní obchodní značkou – Heraklit. Dřevitá vlna se vyrábí na speciálních strojích, tzv. kráječkách dřevité vlny. Obvykle se vyrábí z 50 cm dlouhých smrkových kuláčů nebo půlkuláčů. Pro lepší spojení dřeva s cementem a rychlejší tvrdnutí se dřevitá vlna mineralizuje v roztoku chloridu vápenatého. Dřevitá vlna se ve směšovači míchá s cementem a mechanicky nanáší do dřevěných rámových forem, které se dále lisují. Poté následuje obvykle jednodenní vytvrzení slisovaného souboru. Surové desky se nechávají 21 až 28 dnů vysušit a dozrát.

Rozměry desek jsou většinou 2 000 x 500 mm a tloušťka 15 až 100 mm. Vyrábějí se také desky s pěnovým polystyrenem pro zvýšení tepelné a zvukové izolace. Vzhledem k nízké objemové hmotnosti desek (350 až $550 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) se řadí mezi lehké stavební desky. Oproti ostatním typům desek pojených cementem je nízká objemová hmotnost způsobena zejména velkým podílem vzduchových dutin v hotové desce.

Pevnost v ohybu, modul pružnosti a některé další mechanické vlastnosti jsou také výrazně nižší než u ostatních typů desek. Díky velkému podílu dutin mají desky dobré tepelně i zvukově izolační vlastnosti. Dobrou přilnavost malty a omítky zajišťuje hrubý povrch. Desky se používají pro stavbu lehkých omítaných nenosných příček a pro zlepšení tepelných a zvukově izolačních vlastností nových a rekonstruovaných staveb. [8]



Obr. 6: Deska z dřevité vlny a cementu (Heraklit) [8]

4.2 Cementoštěpkové desky

Desky se vyrábějí z poměrně velkých účelově vyráběných třísek o tloušťce 0,5 – 5 mm a délce 20 – 50 mm. Smrkové třísky se nejprve mineralizují vápenným mlékem a poté se míchají s cementem a lisují ve formách, které jsou vytvrzovány 24 hodin v meziskladu. Následně jsou desky formátovány a přesunuty do dozrávacího skladu. V malé míře se vyrábí také stavební dutinové tvárnice, kdy se používají přesné dávkovače lisované směsi do kovových tvárnic. V rámci materiálů pojených minerálními pojivy je tento druh řazen mezi výrobky střední hustoty (500 až 800 kg·m⁻³). Struktura materiálů je pórovitá a povrch je velmi hrubý, což umožňuje omítání maltami. Výrobky jsou mrazuvzdorné, odolné proti vlhkosti, mají dobré mechanické a zvukově a tepelně izolační vlastnosti. Nejčastěji se používají jako součást stavebních bednicích systémů, u kterých je kovovými distančními sponami

vymezena vzdálenost desek a je vytvořen systém ztraceného bednění. Rychlá výstavba stěn a příček je umožněna pomocí armovací výztuže a betonu litého do vytvořených dutin. U obvodových stěn mohou být dutiny z části vyplněny pěnovým polystyrénem. Systémy pro výstavbu z těchto desek jsou známy řadu let, např. pod názvem Durisol nebo Velox. [8]



Obr. 7: Štěpkocementová deska Durisol [25]

4.3 Cementotřískové desky

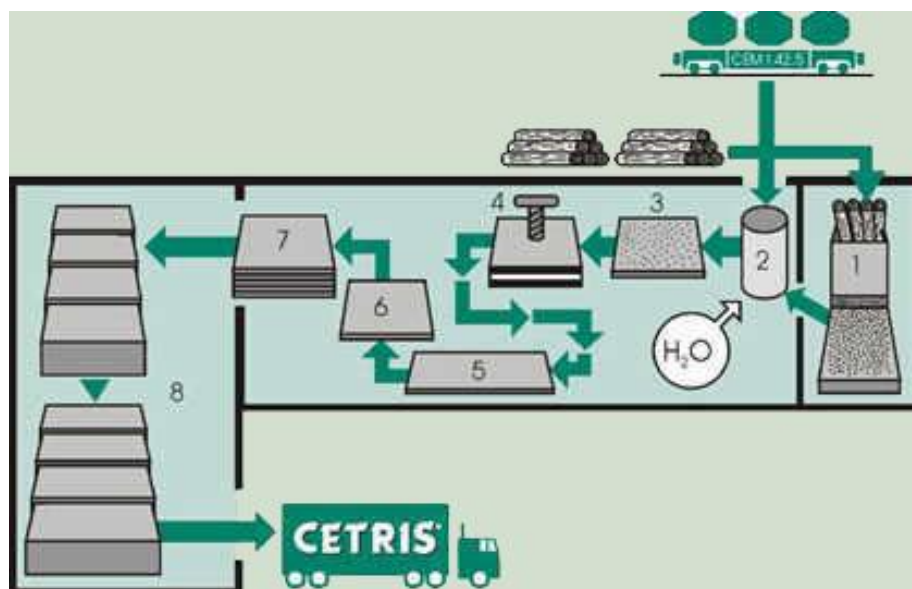
Tento deskový materiál patří k nejčastěji vyráběným druhům. Je tvořen zpravidla z tenkých třísek velikosti 0,2 až 0,3 mm, délky od 10 do 25 mm. Cementotřískové desky jsou lehčí než tradiční cementovláknité desky. Objemová hmotnost se pohybuje od 1 150 do 1 450 kg·m⁻³. Desky jsou odolné proti působení vlhkosti, dřevokazným houbám, plísním, hmyzu, povětrnostním podmínkám a proti působení ohně. Cementotřískové desky mají dobré zvukově izolační vlastnosti a jsou mrazuvzdorné. Desky jsou ekologické a přátelské k životnímu prostředí. Neobsahují nebezpečné látky jako azbest a formaldehyd a jsou také odolné proti benzínu a olejům. [12]



Obr. 8 : Cementotřísková deska (Cetris) [8]

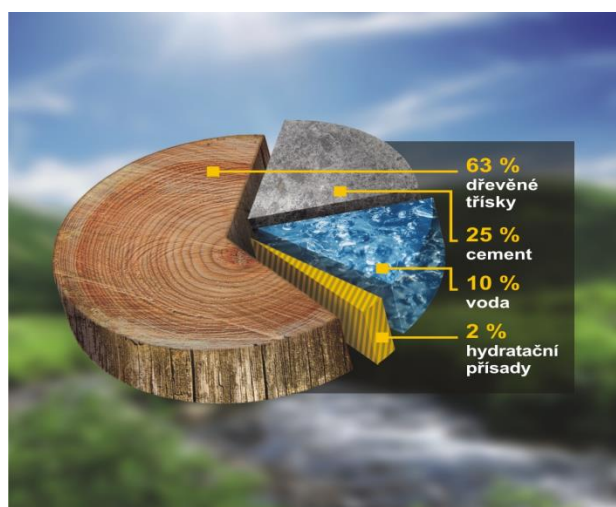
4.3.1 Výroba cementotřískových desek

Pro popis výroby cementotřískových desek jsem vybral podnik CIDEM Hranice, a.s. – divize CETRIS. Tento podnik jsem vybral hlavně z důvodu, že se jedná o jednoho z největších výrobců cementotřískových desek v Evropě. Dalším důvodem byl ten, že jsem podnik CIDEM Hranice navštívil v rámci exkurze.



Obr. 9: Výrobní proces cementotřískových desek Cetris [26]

Na začátku výrobního procesu jsou celé kmeny smrků, které se nechají venku odstát. Časem dojde k odbourání některých škodlivin a také k ustálení vlastností a vlhkosti dřeva. Kmeny musí být odkorněné. Potom se kulatina zdrobňuje přes štěpky až na výsledné třísky (1). Dále se dávkuje přísady v množství 2 % směsi. Konkrétně se jedná o síran hlinitý a vodní sklo, které slouží k mineralizaci. Dřevěné třísky jsou nejprve v míchačce mineralizovány a poté se přidává cement a technologická voda podle naměřené vlhkosti dřevěných třísek. Důležitá je výstupní vlhkost, která se musí pohybovat kolem 40 %. Výsledná směs má složení 63 % dřevěných třísek, 25 % cementu, 10 % vody a 2 % přísad. Směs se poté ukládá v přesně stanovené tloušťce na kovové podkladní podložky, čímž vzniká tzv. cementotřískové rouno (3). Kovové podkladní plechy se musí naolejovat, aby se cementotřískové desky nelepily a byly lehce odformovatelné. Směs se ukládá tak, aby na povrchu byly jemnější třísky. Díky tomu je povrch desek hutnější a kompaktnější. Jednotlivé podkladní plechy s rounem se stohují na sebe, aby se v lisu slisovaly pod tlakem 2 – 3 MPa (4). Následně se zaváží na 6 – 8 hodin do vytvrzovací komory, kde při teplotě 60 °C získávají manipulační pevnost. Poté se desky odformují a převezou se do klimatizačního prostoru, kde zrají dalších 7 dní. Po vyžrání dosahují desky konečné pevnosti v tahu za ohybu 11 – 12 MPa (norma požaduje minimálně 9 MPa) (5). Desky se poté nařežou do požadovaných formátů na formátovací pile (6). Dále probíhají jednotlivé úpravy podle požadavků zákazníků. Desky se můžou vyřezat do libovolného tvaru, mohou se děrovat pro zlepšení akustických vlastností a také se můžou povrchově upravovat. Poté se hotové výrobky balí (7) a nakonec expedují (8) [11].



Obr. 10: Složení cementotřískových desek Cetris [27]

4.4 Cementovláknité desky

U cementovláknitých desek se pro výrobu kromě cementu používají celulózová vlákna (buničina), syntetická vlákna (polypropylen), minerální plniva nebo perlit a vodní sklo. V minulých letech byl přidáván ještě vláknitý azbest.

Některé firmy používají také přídavek celulózových vláken z kvalitního sběrného papíru. Směs vláken (buničina) se mísí s cementem a dalšími složkami a vytváří se homogenní směs, která se dále odvodňuje a lisuje na válcových nebo plošných lisech. [8]



Obr. 11 : Cementovláknitá deska (Cembrit) [8]

5. Modifikace složení cementových kompozitů

5.1 Možnosti využití lehčeného kameniva při výrobě cementotřískové desky

Cementotřískové desky jsou vhodné do vnitřního i venkovního prostředí. Mají příznivé fyzikálně mechanické vlastnosti a všestranné stavební použití. Pro některé případy použití je hlavním omezením poměrně vysoká vlhkostní roztažnost cementotřískových desek. Snížení vlhkostní roztažnosti lze dosáhnout částečnou náhradou výchozích surovin. Největší vlhkostní roztažnost má v tomto případě

dřevěné plnivo. Plnivo můžeme částečně nahradit surovinami, které mají vysokou odolnost vůči změnám vlhkosti a minimální smrštění. [13]

Jako alternativní plnivo pro laboratorní testování bylo vybráno lehčené kamenivo. Vzhledem k tomu, že v ČR působí přímo i výrobce tohoto kameniva, bylo zvoleno lehké kamenivo z expandovaných jíílů a břidlic s obchodním označením Liapor. Proces výroby lehkých kameniv z expandovaných jíílů a břidlic je různý podle vlastností vstupních surovin. Záleží na historii těchto přírodních materiálů a na obsahu vody. Ve firmě Lias Vintířov se používá plastický postup výroby. Nejprve se vyrobí široké frakce a následně se třídí na úzké frakce. Liapor se ve Vintířově vyrábí z třetihorních cypřišových jíílů, které tvoří nadloží hnědouhelných slojí Sokolovské pánve. V rotačních pecích probíhá vypalování a expandování při teplotě 1 100 °C až 1 200 °C. Při výrobě Liaporu se nepoužívají žádné umělé pórotvorné přísady. Podmínkou expandace je pouze vhodné přírodní složení jíilu a jeho dobré zpracování. Vzhledem k vynikajícím vlastnostem jíílů a dobré úrovni zpracování patří tento typ lehčeného kameniva se svou sypnou hmotností 300 – 500 kg·m⁻³ mezi nejlehčí materiály tohoto druhu na světě. [13]



Obr. 12 : Lehčené kamenivo Liapor [13]

Byly navrženy tři různé receptury, ve kterých byla dřevní hmota nahrazena lehčeným kamenivem a elektrárenským popílkem (plnivo s jemnou frakcí). Popílek ve směsi však plní i funkci pojiva. Výrobce lehčeného kameniva nabídl recepturu z jejich zkoušek výroby deskových materiálů. Největším problémem v této receptuře je ale vodní součinitel (0,6), který odpovídá spíše vodním součinitelům z výroben betonových směsí. Při výrobě cementotřískových desek se pohybuje vodní součinitel

kolem hodnoty 0,4. Jednotlivé receptury se navzájem lišily pouze v hodnotě vodního součinitele. Poměr mezi cementem, elektrárenským popílkem a lehčeným kamenivem Liapor byl konstantní. Míchání a dávkování jednotlivých složek probíhalo v laboratorních podmínkách. Pro dosažení dostatečné pevnosti v tahu za ohyb, byly do krajních vrstev (lícové i rubové) vloženy pásy z armovací tkaniny (perlínky). [13]

Tab. 3: Výsledky testování [13]

Receptura	Vodní součinitel [-]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
1	0,4	2,07	765	1428
2	0,5	2,57	938	1478
3	0,6	4,25	1049	1550

U směsí s vodním součinitelem 0,4 a 0,5 nebyla dokonale zapracována výztužná tkanina do obou povrchů. Naopak u směsi s nejvyšším vodním součinitelem (0,6), bylo zabudování armovací tkaniny velmi dobré. Následně byly po 7 dnech provedeny první fyzikální testy. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3. Výsledky byly poté porovnány s parametry laboratorně vyrobené cementotřískové desky (ze standardní směsi). Nejlepší vzorek s plnivem z lehčeného kameniva (receptura 3) má poloviční pevnost v tahu za ohybu jako cementotřísková deska a přibližně třetinový modul pružnosti. Z jednotlivých výsledků je patrné, že zvyšující vodní součinitel zlepšuje fyzikálně-mechanické parametry a spojení hmoty s armovací tkaninou. Výrobní linky, které produkují cementotřískové desky, umějí zpracovat pouze směsi s nízkým vodním součinitelem. Proto nelze na stávajícím technologickém zařízení vyrobit cementovou desku s plnivem z lehčeného kameniva.

Vývoj inovované směsi pro výrobu cementových desek bude nadále pokračovat. Výsledný produkt bez dřevěné výplně má jednoznačné výhody. Zejména se jedná o nehořlavost. Takový produkt spadá do nejvyšší třídy reakce na oheň – A1. Další výhodou je minimální smrštění a roztažnost vlivem změny vlhkosti. Taková deska by byla vhodným a stabilním podkladem pod omítky a obklady do venkovního prostředí. [13]

5.2 Studium vlastností popílku vznikajícího jako vedlejší produkt při výrobě cementotřískových desek

Jednou z možností jak optimalizovat stávající výrobní proces je využití nejrůznějších typů druhotných surovin. Při produkci cementotřískových desek vzniká značné množství vedlejších produktů, které zatím nejsou využívány a představují odpad. Jedním z nich je i popílek, který vzniká v kotli sloužícího pro vytápění části výrobní linky, kde dochází ohřevu cementotřískových desek. Jako palivo se používají dřevní štěpky o minimální výhřevnosti $10,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a maximálním obsahu nespalitelných látek 0,4 %. Tento popílek v současnosti nenalézá dalšího uplatnění, což může vést jednak k zatěžování životního prostředí a dále pak také k finančním nákladům, které musí vynaložit producent tohoto popela. [14]

Z hlediska návrhu vhodných receptur je v první řadě nutné analyzovat všechny podstatné parametry zkoumaného popílku. Pro srovnání parametrů popílků z různých způsobů spalování byli vybráni následující zástupci včetně popílku z výroby cementotřískových desek:

- elektrárenský popílek (dále jen EL),
- teplárenský popílek (dále jen TE),
- popílek z kotle ve výrobě CIDEM (dále jen CI) [14]

Tab. 4: Chemické složení analyzovaných popílků včetně měrného povrchu, měrné hmotnosti a pH ve výluhu [14]

Popílek	EL	TE	CI
Složka – parametr	Hmotnostní podíl jednotlivých složek [%], příp. hodnota daného parametru		
SiO ₂	54,58	48,36	34,8
Al ₂ O ₃	27,36	29,65	4,72
Fe ₂ O ₃	7,12	6,35	2,51
CaO	2,56	6,35	37,40
MgO	1,03	1,54	2,74
Na ₂ O	0,92	2,36	0,26
K ₂ O	3,11	1,09	7,20
P ₂ O ₅	0,87	0,12	1,81
MnO	0,08	0,85	1,85
TiO ₂	1,56	0,84	0,26
Chloridy	0,07	0,12	0,25
Sírany – SO ₃	0,35	0,42	2,19
Ztráta žháním 1100°C	0,25	11,4	7,47
Měrná hmotnost [kg·m ⁻³]	1772	1754	1698
Měrný povrch [m ² ·kg ⁻¹]	156	144	126
pH ve výluhu [–]	5,3	6,1	6,4

Z chemické analýzy plyne, že popílký se vyznačují rozdílným složením. Popílek CI obsahuje nejnižší množství SiO₂ a naopak nejvyšší podíl CaO. Dále bylo zjištěno zvýšené množství K₂O. Další podstatná hodnota je ztráta žháním. Popílek CI má zvýšenou hodnotu tohoto parametru, avšak ne nejvyšší. Měrné hmotnosti a pH jsou srovnatelné pro všechny analyzované typy popílků. Rozdíl je zejména v měrném povrchu, kdy popílek CI dosahuje nejnižší hodnoty, což je také potvrzeno granulometrickým rozbořem. [14]

Z křivek zrnitostí bylo zjištěno, že popílek CI obsahuje větší částice, což je s největší pravděpodobností zapříčiněno způsobem spalování a použitým palivem. V porovnání s ostatními popílký se jedná o poměrně značný rozdíl. Pro další využití při výrobě

cementotřískových desek je vhodné upravit frakční rozmezí tohoto popílku pomocí mletí. [14]

Rozdíl fázového složení má svůj původ především v rozdílném způsobu spalování a konkrétního použitého typu paliva. Popílek CI neobsahuje žádné minerály, jejichž přítomnost je charakteristická pro živce či nerostné suroviny obsahující ionty železa. [14]

Pro uplatnění popílku CI v matrici cementotřískových desek je potřeba stanovit množství identifikované amorfnní fáze. Množství amorfnní fáze částečně vypovídá o případné pucolánové aktivitě popílků. [14]

5.3 Využití odpadu z výroby kamenné vlny

Mezi vstupní suroviny pro výrobu kamenné vlny patří čedič, diabas a struska. V současné době jsou využívány i brikety, které jsou připravovány s využitím recyklovaného odpadu vzniklého při výrobě. Hlavním procesem při výrobě kamenné vlny je tavení čediče, což je v podstatě sopečná hornina. Tavení probíhá ve speciální kupolové peci a teplota při tavení přesahuje 1 500 °C. Roztavená hornina se poté nechá vytékat na rotující válec. Pomocí odstředivé síly se tvoří z lávy malé kapky, které odlétají do tzv. usazovací komory. Vlivem velké rychlosti se natáhnou na jemné vlákno, které tvoří hlavní část kamenné vlny. Do vláken se dále přidává pojivo, vodoodpudivé a protiplísňové přísady. Poté se vlákna rovnoměrně usazují na pás a pokračují do vytvrzovací pece. Pás kamenné vlny dále pokračuje přes přítlačné zařízení, které upravuje požadovanou objemovou hmotnost a tloušťku izolantu. Pás dále pokračuje přes chladicí komoru k diamantové pile, která nařeže hotový výrobek z kamenné vlny na požadovaný formát. Vzniklý odpad je doposud využíván převážně pro výrobu briket, které se zpětně použijí ve výrobě. Odpad je tvořen dvěma složkami a to nestejnorodými chomáči minerální vaty a minerálního písku. [15]



Obr. 13: Charakter odpadu z výroby kamenné vlny [17]

Pro využití tohoto odpadu při výrobě cementotřískových desek je nutná jeho úprava. Je potřeba docílit toho, aby výsledná frakce vyhovovala technologickým zařízením, způsobu výroby a tvaru dřevěných třísek. Úprava odpadu probíhala pomocí drtiče a poté se odpad separoval pomocí síta. Náhrada minerální vaty za dřevěné třísky při výrobě cementotřískových desek by měla být o hmotnosti 27,5 kg na jednu šarži míchacího zařízení. Při průměrném denním počtu 185 výrobních šarží to představuje přibližně 5 tun odseparované minerální vaty. [17]



Obr. 14: Porovnání množství separovaného písku a vaty [17]

Podle provedených zkoušek bylo zjištěno, že separace odpadu z výroby minerální vaty pomocí síťového bubnu je prakticky možná a dostačující. Pro vylepšení tohoto procesu prosévání je možné osadit tento stroj o něco málo většími otvory síta na počátku síťového bubnu. Zvýší se výkon prosévání a propadnou i větší zrna písku. Výrazná změna však musí nastat u procesu rozčesávání chomáčů vaty. [17]

5.4 Možnosti využití konopného pazdeří při výrobě tepelně izolačních zdících tvarovek

Na stavební fakultě VUT v Brně již delší dobu probíhá výzkum, jehož cílem je vývoj nového tepelně izolačního materiálu z technického odpadního konopí. Tento materiál by měl sloužit jako náhrada dřevní hmoty při výrobě dřevocementových dutinových tvárnic. Snahou je, aby tento materiál disponoval dostatečnými mechanickými vlastnostmi a pokud možno co nejlepšími tepelně izolačními vlastnostmi.

Celkem bylo navrženo 15 různých receptur. Použity byly dvě frakce odpadního konopného pazdeří. Hrubá frakce 10 – 50 mm a jemná frakce 1 – 10 mm. Jako pojivo bylo použito cement CEM I 42,5 R s přídavkem akrylátové vodní disperze Sokrat 2084. Dávkování jednotlivých složek bylo zvoleno tak, aby bylo možné sledovat vliv jednotlivých složek směsi na výsledné tepelné a mechanické vlastnosti výsledného materiálu. [16]

Tab. 5: Přehled složení jednotlivých receptur [16]

Záměs č.	Cement	Konopí (1–10mm)	Konopí (10–50mm)	Voda	Sokrat
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	1	1	0	1,85	0,1
2	1	0	1	1,85	0,1
3	1,5	1	0	2,1	0,1
4	1,5	0	1	2,1	0,1
5	1,5	1	0	2,3	0,15
6	1,5	0	1	2,3	0,15
7	1,5	0,5	0,5	2,3	0,15
8	1,5	0,5	0,5	2,1	0,1
9	1	0,5	0,5	1,85	0,1
10	2	1	0	2,1	0,2
11	2	0	1	2,1	0,2
12	2	0,5	0,5	2,4	0,2
13	3	0,5	0,5	2,6	0,3
14	3	0	1	2,6	0,3
15	3	1	0	3	0,3

Z každé směsi bylo vyrobeno 6 zkušebních krychlí o rozměrech 100 x 100 x 100 mm a tři tělesa o rozměrech 300 x 300 x 50 mm. Zkušební vzorky poté zrály za laboratorních podmínek 28 dní. Dále byly vzorky vysušeny při teplotě 70 °C a pak při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti. Na zkušebních vzorcích se stanovila objemová hmotnost, pevnost v tlaku kolmo na směr hutnění a pevnost v tlaku rovnoběžně se směrem hutnění. Součinitel tepelné vodivosti se stanovil stacionární metodou desky při teplotním spádu 10 °C. [16]

Tab. 6: Přehled stanovení objemových hmotností a mechanických vlastností
zkušebních vzorků [16]

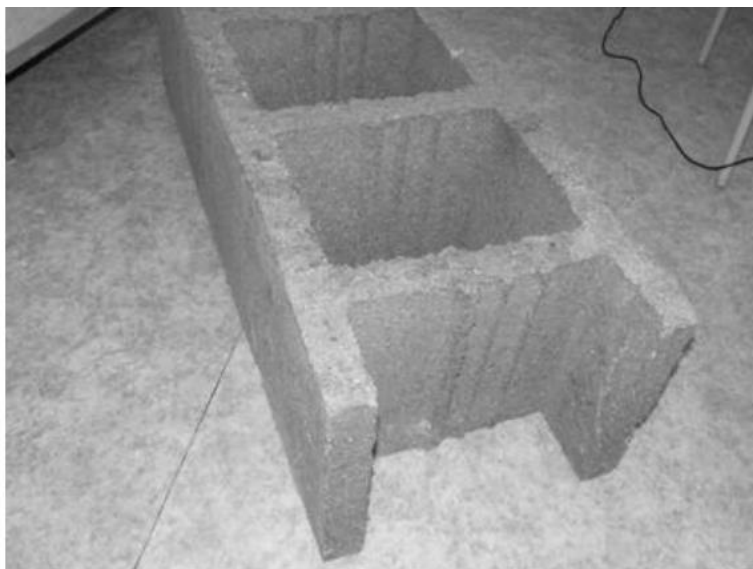
Záměs č.	ρ_v	R \perp	R II
	[kg.m ⁻³]	[MPa]	[MPa]
1	267,1	0,10	0,13
2	275,6	0,22	0,34
3	403,6	0,31	0,43
4	457,5	0,45	0,73
5	389,0	0,37	0,66
6	431,6	0,35	0,69
7	396,3	0,45	0,83
8	393,4	0,37	0,65
9	327,6	0,27	0,45
10	517,6	0,79	1,02
11	464,2	0,41	0,95
12	471,8	0,60	0,83
13	627,0	1,40	1,05
14	594,9	1,30	1,02
15	630,0	1,60	1,43

Objemové hmotnosti se pohybovaly v rozmezí 260 – 630 kg.m⁻³. Z grafu byla patrná závislost objemové hmotnosti na množství použitého pojiva. Se vzrůstajícím množstvím pojiva vzrůstá téměř přímo úměrně objemová hmotnost. Při použití stejné dávky pojiva byla objemová hmotnost vyšší při použití hrubé frakce konopného pazdeří. U směsí 3., 5. a 4., 6. bylo zjištěno, že s vyšším množstvím záměsové vody se snižuje objemová hmotnost. Příčinou bylo napětí záměsi v důsledku použití polymerní disperze a vyššího množství vody. [16]

Nejnižší pevnosti má záměs č. 1, soudržnost materiálu byla velmi nízká a nebylo by jej možno aplikovat v konstrukci. Pro dostatečnou soudržnost při manipulaci je potřeba dosáhnout mechanických pevností alespoň 0,3 MPa. Při použití vyšších dávek pojiva se jeví jako optimální použít jemnou frakci plniva. Naopak při nižších dávkách pojiva je výhodné použít kombinaci jemné a hrubé frakce. Nejlepší mechanické vlastnosti vykazuje záměs č. 15, která obsahuje největší dávku pojiva a jemnou frakci plniva. [16]

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti jednotlivých vzorků se pohybují v intervalu od $0,054 - 0,096 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Bylo zjištěno, že hodnota součinitele tepelné vodivosti roste se vzrůstající dávkou pojiva. Při použití stejného množství pojiva se jeví příznivěji záměs s hrubou frakcí plniva. Vzorky totiž vykazují vyšší pórovitost.

Pro vzájemné srovnání výsledků jednotlivých směsí a výběr optimální receptury byla zvolena metoda párového srovnání. Cílem bylo vybrat takovou recepturu, která by měla vyvážené tepelně izolační vlastnosti a mechanicko-fyzikální vlastnosti. Na základě výpočtu byla jako optimální zvolena receptura č. 10. Tato záměs byla poté použita jako náhradní materiál při výrobě dřevocementových dutinových tvárnic. Tyto tvárnice jsou vyráběny vibrolisováním a po jejich vyztužení je do dutin vložen EPS. Tvárnice slouží jako ztracené bednění. [16]



Obr. 15: Konopnocementová dutinová tvárnice [16]

Na laboratorně připravených zkušebních vzorcích a na vzorcích z reálného provozu bylo zjištěno, že odpadní konopné pazdeří může být použito jako náhrada dřevní hmoty. Tvarovky z technického konopí vykazují o 35 % lepší tepelně izolační vlastnosti oproti dřevoštěpkovým tvarovkám. Laboratorně vyvinuté receptury byly úspěšně ověřeny v praxi a cementokonopná hmota může najít uplatnění i při vývoji dalších výrobků s využitím ve stavebnictví. [16]

5.5 Výplňové hmoty pro svislé konstrukce na bázi technického konopí

Výzkum se zabýval použitím konopí jako výplňové hmoty. Při takovém použití není potřeba, aby měl materiál velké pevnosti. Většinu pojiva tedy tvořil vápenný hydrát. [17]

Komerčně vyráběné konopné výplňové hmoty Tradical® HB mají následující parametry:

- Objemová hmotnost $330 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Součinitel tepelná vodivost $\lambda = 0,09 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Pevnost v tlaku po 90 dnech $0,9 \text{ MPa}$

Pro výrobu zkušebních vzorků byly použity následující suroviny:

- Konopné pazdeří, Cement - CEM I 42,5 R
- Vápenný hydrát - CL 90-S
- Fluidní ložový popílek z elektrárny Hodonín
- Struska z elektrárny Dětmarovice

Tab. 7: Složení jednotlivých receptur [17]

Zastoupení složky % hm.	Pojivo				Plnivo	Voda
	43				38	19
Směs číslo	Vápenný hydrát	Cement	Popílek	Struska	Koncentrace vodního skla	
1	75	15	10	0	14%	
2	75	15	10	0	10%	
3	65	25	10	0	14%	
4	65	25	10	0	10%	
5	70	15	0	15	14%	
6	70	15	0	15	10%	



Obr. 16: Zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti v tlaku [17]

Tab. 8: Výsledky jednotlivých zkoušek [17]

Směs číslo	Objemová hmotnost [kg/m ³]					Pevnost v tlaku [N/mm ²]			
	ČS	7 dní	28 dní	60 dní	90 dní	7 dní	28 dní	60 dní	90 dní
1	930	717	629	643	515	0,32	1,02	1,22	1,31
2	920	705	618	635	520	0,26	0,95	0,99	1,24
3	1030	761	732	728	670	0,73	1,47	1,91	2,03
4	995	820	743	735	682	0,68	1,02	1,65	1,84
5	910	603	555	466	446	0,34	0,37	0,52	0,78
6	876	568	523	458	441	0,27	0,36	0,48	0,65

Tab. 9: Výsledky jednotlivých zkoušek – pokračování [17]

Směs číslo	Pevnost v tahu za ohybu [N/mm ²]				Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
	7 dní	28 dní	60 dní	90 dní	
1	0,86	1,59	1,65	1,92	0,094
2	0,72	1,43	1,55	1,87	0,091
3	1,25	2,33	2,42	2,21	0,102
4	1,02	2,14	2,29	2,06	0,092
5	0,32	0,45	0,58	0,95	0,086
6	0,21	0,36	0,47	0,86	0,083

Z výše uvedených výsledků je patrné, že hodnoty navržených receptur jsou podobné jako u komerčně vyráběných výplňových hmot (Tradical® HB). Všechny zkušební vzorky mají sice vyšší objemové hmotnosti, ale hodnoty pevností a součinitelů tepelné vodivosti jsou velmi dobré. Byl ověřen vliv mineralizace konopného pazdeří na výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti. Mineralizace konopného pazdeří přispívá ke zvýšení konečných pevností a také k zlepšení trvanlivosti výsledných hmot. Také byla ověřena možnost kombinace ušlechtilých pojiv s druhotnými odpadními surovinami. Jako druhotná surovina byl použit popílek, který byl ve všech recepturách. Při jeho použití nedocházelo ke snížení výsledných pevností. [17]

5.6 Desky z dřevité vlny ze směsi eukalyptu a topolu pojené cementem

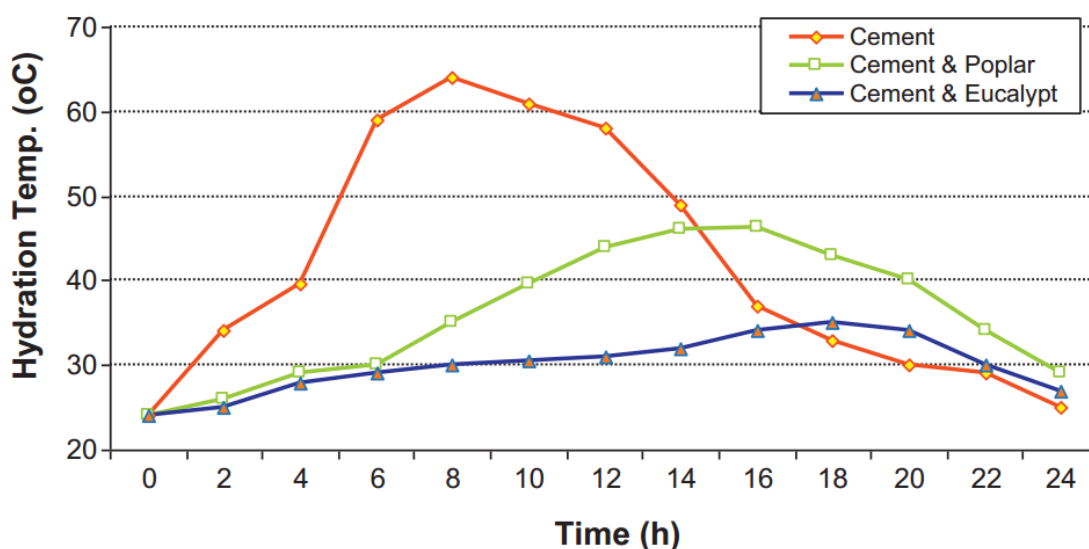
Studie se zabývala možnostmi využití eukalyptu (*Eucalyptus camaldulensis*) a topolu (*Populus deltoides*) při výrobě desek z dřevité vlny pojené cementem. Zkoušeny byly různé poměry dřevin, cementu a chloridu vápenatého. Z mechanických vlastností byla zjišťována zejména pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tahu kolmo na rovinu desky a modul pružnosti. [18]

Tab. 10: Chemické složení dřeva [18]

Druh dřeva	Obsah [%]			
	Celulóza	Lignin	Rozpustné látky	Popel
Topol	51	22,3	5,1	0,7
Eukalyptus	49,3	27,0	9,2	0,2

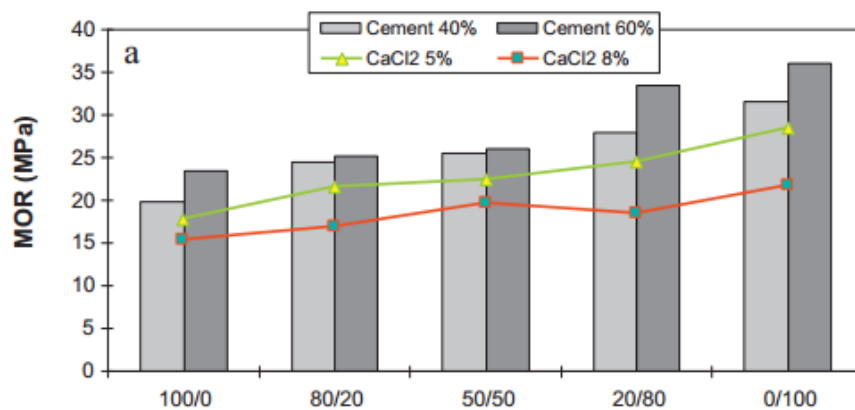
Pro odstranění rozpustných látek se dřevitá vlna namočila na 48 hodin do vody o teplotě 50 °C a poté se vysušila a zakrátila. Dřevitá vlna byla 100 až 250 mm dlouhá, 1 až 5 mm široká a 0,2 až 0,5 mm tlustá. Jako pojivo byl použit portlandský cement a jako urychlovač tuhnutí chlorid vápenatý. [18]

Na měření teploty hydratace cementu bylo použito 300 g portlandského cementu, 15 g dřevité vlny a 130,5 ml vody. Vše se důkladně promíchalo v uzavíratelném polyetylenovém sáčku po dobu 2 minut. Množství vody bylo stanoveno 0,4 ml vody na gram cementu a 0,7 ml vody na gram suché dřevní vlny. Kontrolní vzorek obsahoval pouze cement s vodou. Ihned po promíchání byl sáček uzavřen a na vnější stranu se přilepil teploměr. Poté byl sáček vložen do polystyrenového kelímku a uložen do termoláhve. Zkoumaly se celkem tři vzorky. Všechny experimenty byly prováděny v místnosti s řízenou teplotou (20 ± 1) °C. [18]

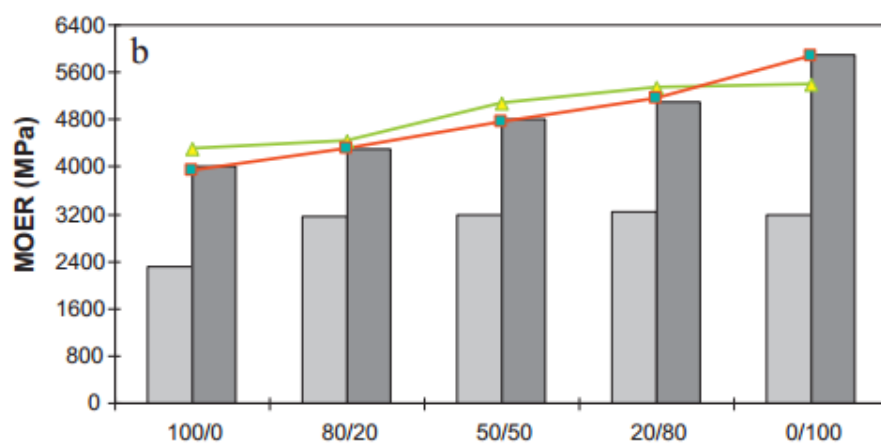


Graf 1: Graf závislosti teploty hydratace na čase v hodinách. Červená křivka zobrazuje teplotu hydratace samotného cementu. Zelená a modrá křivka zobrazuje teplotu hydratace cementu ve směsi s topolem resp. eukalyptem. [18]

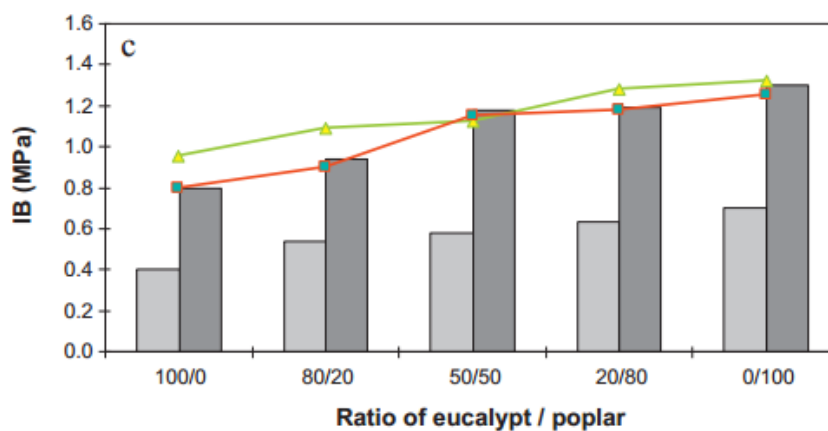
Ideální materiál by měl poskytnout vyšší maximální teplotu a nižší čas potřebný k dosažení maximální teploty. Obecně lze říci, že přidáním dřevní vlny do cementu se prodloužila doba k dosažení maximální teploty. Také se snížila maximální teplota hydratace. [18]



Graf 2: Závislost pevnosti v tahu za ohybu na složení směsi v poměru eukalyptus / topol [18]



Graf 3: Graf závislosti modulu pružnosti na složení směsi v poměru eukalyptus / topol [18]



Graf 4: Závislost pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky na složení směsi v poměru eukalyptus / topol [18]

Všechny měřené hodnoty byly výrazně lepší u směsi s 60 % cementu na rozdíl od směsi s 40 % cementu. To souvisí s nižším obsahem dřeva ve směsi. Při použití topolu se dosáhlo lepších vlastností než při použití eukalyptu. Dále je patrné, že při použití 5 % CaCl_2 , namísto 8 % CaCl_2 , se dosáhlo lepších vlastností. [18]

5.7 Využití dřevěných železničních pražců v cementových kompozitech

Každý rok ve světě vzniká velké množství dřevěného stavebního odpadu. Zejména se jedná o staré dřevěné pražce, plotové sloupky, kusy nábytků, dřevěné mosty a další. Většina dřeva používaného ve stavebnictví je chemicky ošetřena, aby byla chráněna před biologickou degradací. Tyto chemické látky jsou toxické a špatně biologicky rozložitelné. V současné době jsou tyto odpady spalovány nebo končí na skládkách. Při spalování však dochází k znečišťování životního prostředí. Navíc se jedná o plýtvání primárních přírodních zdrojů. Proto proběhly pokusy, aby se tento odpad znovu použil ve stavebních dílcích např. v dřevocementových kompozitech. [19]

Ze studie vyplývá:

1. Při opětovném použití recyklovaného dřeva by se mělo brát v úvahu, že mohou nastat problémy při výrobním procesu, protože dřevo obsahuje chemické konzervační látky.
2. Statistická analýza výsledků potvrdila výrazné rozdíly fyzikálních a mechanických vlastností v závislosti na teplotě při lisování a množství použitého CaCl_2 .
3. Nasákavost a tloušťkové bobtnání je vyšší při použití vyšších teplot při lisování.
4. Obecně se mechanické vlastnosti snižují s nárůstem teploty při lisování a zvyšují se při vyšším obsahu CaCl_2 .
5. Desky vykazovaly nejvyšší pevnost při teplotě lisování 25 °C a obsahu CaCl_2 7 %.
6. Fyzikálně-mechanické vlastnosti cementových desek s dřevěnými železničními pražci jsou srovnatelné s komerčně vyráběnými deskami. [19]

6. Alternativní suroviny

6.1 Len

Lněné pazdeří můžeme použít jako organické plnivo do cementových kompozitů. Získává se jako odpad z tření lnu. Jedná se o velmi lehké výplňové materiály o objemové hmotnosti 100 až 120 kg·m⁻³, které odolávají velmi dobře povětrnostním změnám. Lněné pazdeří vykazuje v porovnání s dřevěnými pilinami mnohem větší objemovou stálost, menší vztlínavost a asi 3 až 4krát menší nasákavost. Povrch pazdeří je nerovný a zdrsňelý, takže se s cementem velmi dobře spojuje. Pro výrobu lehkých stavebních dílců je potřeba pazdeří nejdříve pomlít (čímž se pouze zkracuje délka), vytrít a vyčistit od přítomné koudelky. Dále se pazdeří mineralizuje vodním sklem. Cement se s pazdeřím mísí v poměru 1 : 3 objemově, čili na 1 m³ je potřeba 400 až 500 kg cementu. Zhutňování se provádí pýchováním nebo lisováním, často ručně. Protože směs hodně pruží, je potřeba věnovat velkou péči při zpracování a rozprostírání, abychom dosáhli dílce požadované tloušťky a vlastností. Urychlení hydratace směsi se dá docílit použitím přísad nebo propařováním. Krychelná pevnost pazderového betonu je 15 – 35 MPa, objemová hmotnost 650 – 850 kg· m⁻³, součinitel tepelné vodivosti 0,17 – 0,21 W·m⁻¹·K⁻¹, nasákavost 30 – 60 %, trvalý obsah vlhkosti 10 – 15 %, smrštění 2 – 3 mm·m⁻³. Smrštění je velmi nepříznivé, ale stále je 2 – 3krát menší než u pilinového kompozitu. Další výhodou je také, že i přes uvedenou nasákavost, je kompozit dobře odolný proti povětrnostním vlivům včetně mrazu, vyniká velkou pružností, většími tlaky se silně deformuje. Má výhodný poměr k pevnosti v tlaku za ohybu. Nevýhodou je velká spotřeba cementu. Tomu se dá předejít nahrazením části cementu popílkem.[7]



Obr. 17: Lněné pazdeří [28]

6.2 Konopí

Konopí seté (*Cannabis sativa*) je jednoletá teplomilná rostlina z čeledi Cannabaceae. Rostlina má dlouhý, tenký, přímý, rychle dřevnatějící a slabě rozvětvený stonek s dlanitě složenými zoubkovanými listy, které se rozbíhají do 3–9 úzkých výběžků. Hlavní stonek může dosahovat délky 3 – 5 m a průměru 30 mm. Pěstovat se může v mírném pásu s výjimkou půd trvale zamokřených nebo trvale přesušených. Celá rostlina je využitelná, proto při zpracování nevzniká žádný odpad. Ušlechtilé odrůdy dávají nejvyšší obsah nejkvalitnějších vláken. Nové odrůdy dosahují výtěžnost vláken na úrovni lnu. Konopná vlákna se od ostatních vláken liší anatomickou stavbou, ale i chemickým složením a mnoha fyzikálními vlastnostmi. Konopí je velmi cenná zemědělská plodina, která může být alternativou dřeva pro stavební účely. Některé vlastnosti konopí dokonce předčí vlastnosti dřeva. Musíme si uvědomit, že v ČR je povoleno pěstovat pouze konopí seté, které má malý obsah THC (tetrahydrokanabinolů), tj. do 0,3 %.

V případě využití konopí jako plniva do cementových kompozitů, je podstatná také úprava konopí mineralizačními látkami. Mineralizace zabraňuje nežádoucím reakcím a jevům mezi maticí a plnivem. Jako mineralizátor se používá vodní sklo o nízké koncentraci a vápenné mléko. Konopné pazdeří v kombinaci s hydraulickými maltovinami vytváří nové stavební materiály s velmi dobrými fyzikálně-mechanickými

a tepelně-technickými vlastnostmi. Tyto stavební hmoty mají velmi vynikající charakteristiky pro trvanlivé a ekologicky udržitelné stavby. Mohou se dále použít do izolačních zdí, izolačních vrstev pro podlahy a střechy a vytvoření vynikajících tepelných a akustických vlastností budov.[20]



Obr. 18: Konopné pazdeří [29]



Obr. 19 :Konopné vlákno[29]

6.3 Sláma

Pro přípravu kompozitů s organickou výplní bývají doporučovány i jiné rostlinné odpady než dřevěné piliny a pazdeří. Většinou se jedná o obilnou slámu. Nevýhodou je hladkost povrchu, která brání dobrému spojení s cementem. Sláma musí být tedy předem chemicky rozrušována a to přináší další komplikace a nevýhody včetně zdražení výroby. Efektivnější by bylo slámu používat na výrobu tepelně-izolačních materiálů, bez pojení maltovinami, tedy pro výrobu lisovaných desek nebo rohoží. Zkoušela se také řepková sláma v kombinaci s pěnobetonem. Její soudržnost byla však špatná a výroba se neujala. [7]

6.4 Ostatní organická plniva

V oblastech bohatých na rašeliny je možné použít rašelinu jako plnivo. Nejdříve se musí vysušit (objemová hmotnost cca $75 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a poté impregnovat proti ohni plísním a navlhání. Dále je potřeba snížit obsah huminových kyselin a zemitých součástí, aby zůstala převážně jen dlouhá a pružná vlákna. Do rašelinového betonu

se často přidává křemelina, písek a škvára. Objemová hmotnost je 800 až 1200 kg·m⁻³ a pevnost v tlaku až 3,8 MPa. Dále bylo experimentováno s rýžovými, slunečnicovými a kukuřičnými plevami. Na rozdíl od pilin jsou dobře objemově stálé a jejich povrch je drsný, takže se dobře spojuje s cementem. Kompozity s těmito plnivými jsou málo nasákavé a sorpční vlastnosti jsou příznivé. Kvůli špatné zpracovatelnosti se tyto materiály neuplatnily. Dále docházelo k nepříznivým objemovým změnám v důsledku nedokonalé mineralizace plniva. Problematická také byla i jejich trvanlivost a hygienická vhodnost. Tyto nevýhody jsou natolik závažné, že nemůžou vyvážit ani celkem příznivé vlastnosti jako je nízká objemová hmotnost a součinitel tepelné vodivosti.[7]

6.5 Příměsi

Většinou se jedná o práškové látky, které se přidávají do cementových kompozitů za účelem zlepšení některých vlastností nebo vytvoření zvláštních vlastností. Dělíme je na dva typy: inertní příměsi a pucolány nebo latentně hydraulické látky. Jako příměsi se můžou použít zejména popílký, strusky, pigmenty, křemičité úlety a mikrosilika. Často se jedná o odpadní suroviny, které dokáží nahradit část cementu, a tím snížit cenu výsledného materiálu.

6.5.1 Popílek

Popílký jsou tuhé anorganické zbytky po spalování černého a hnědého uhlí. Jsou produkovány především tepelnými elektrárnami, kde se z kouřových plynů zachytávají v odlučovačích. Podle vzniku dělíme popílký na popílký vysokoteplotní a fluidní. Fluidní popílký se pálí při nižších teplotách ve fluidních kotlích, kde se přidává vápenec přímo do kotle. Odsiřování probíhá přímo v kotli a vzniká tedy CaSO₄, který má negativní vlastnosti, zejména zpomaluje tuhnutí cementu. Ve stavebnictví se nejčastěji využívají jako příměsi do cementu vysokoteplotní popílký.

Tyto popílký vznikají při teplotách 1400 až 1600 °C při klasickém spalování. Obsahují zejména β – křemen a mullit (3Al₂O₃·2SiO₂). Obsah sklovité fáze je zpravidla vyšší než 50 % a ta zásadním způsobem ovlivňuje reaktivitu popílký s cementem. Popílek

sám o sobě není hydraulický, to znamená, že není schopen reagovat s vodou. Vykazuje však pucolánové vlastnosti. Reaguje s Ca(OH)_2 a vytváří stejné produkty jako při reakci cementu s vodou. Pucolánovou reakci můžeme definovat jako reakci SiO_2 a Al_2O_3 z popílku s Ca(OH)_2 za vzniku kalciumsilikátových a kalciumaluminátových hydratačních produktů. Pucolánová reakce se začíná projevovat až kolem 28. dne normálního zrání a zvyšuje hlavně 90. denní pevnosti. Nevýhodou popílku jako náhrady cementu je snížení počátečních pevností. V provozech, kde je potřeba rychlý nárůst pevností, se proto většinou využívají portlandské cementy bez příměsí popílku. Při použití většího množství popílku než cementu lze tuto nevýhodu odstranit. Popílký jsou vhodné zejména do takových směsí, kde je zabezpečeno dostatečné množství vody potřebné pro hydrataci kvalitním ošetřováním. Za těchto okolností může dojít k vyrovnání nebo zvýšení pevnosti směsi s popínkem oproti cementu. [21]

6.5.2 Struska

Struska vzniká jako vedlejší produkt při výrobě železa (vysokopecní struska) nebo oceli (ocelářenská struska). Vysokopecní granulovaná struska se vyrábí ve vysokých pecích, kde vsázkové suroviny zvolna klesají pecí a zahřívají se proudem horkých plynů. Při teplotách vyšších než $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ na sebe začnou působit hlušiny rudy a struskotvorné látky a vytváří se tzv. prvotní struska, která v nížeji reaguje se surovým železem a popelem koksu za vzniku konečné strusky.

Vysokopecní granulovaná struska vzniká rychlým zchlazením tekuté taveniny zásadité strusky, která odpadá jako vedlejší produkt při výrobě surového železa. Struska se musí rychle zchladit vodou, aby se zabránilo její krystalizaci. Dojde tak ke stabilizaci jejího sklovitého charakteru, který má latentně hydraulické vlastnosti. Při reakci s cementem tvoří hydratační produkty podobné těm cementovým. [21]

7. Diskuze

Na základě studia odborných článků je možné konstatovat, že modifikace komerčně vyráběných cementových kompozitů je možná.

V některých případech není možné cementotřískové desky použít, protože mají poměrně vysokou vlhkostní roztažnost. Zásadní vliv na vlhkostní roztažnost má v tomto případě dřevěné plnivo. Proběhl tedy výzkum, který měl najít vhodné alternativní plnivo. Pro laboratorní testování bylo vybráno lehčené kamenivo Liapor, které nahradilo cementové třísky. Nejlepších vlastností se dosáhlo při použití vodního součinitele $w = 0,6$. Pevnost v tahu byla poloviční oproti pevnosti cementotřískových desek a modul pružnosti byl přibližně třetinový. Další výzkum by měl navázat a testovat různé poměry dřevěných třísek a lehčeného kameniva. Hledal by se optimální poměr mísení, při kterém by výsledný produkt dosahoval co nejlepších výsledků.

Při výrobě cementotřískových desek vzniká odpad, který by se mohl dále využívat. Zejména se jedná o popílek z kotle, který vytápí část výrobní linky. Proběhla analýza parametrů tohoto popílku a její vyhodnocení. Popílek obsahuje velmi malé procento SiO_2 a Al_2O_3 a naopak obsah CaO je velmi vysoký. Dále by bylo potřeba zjistit množství amorfní fáze. Nevýhodou také je, že popílek obsahuje velké částice. Pro zlepšení vlastností je potřeba popílek rozemlít na menší částice. Další výzkum by měl již testovat jednotlivé receptury cementotřískových desek s použitím popílku. Nejlepších vlastností by se mohlo pravděpodobně dosáhnout při smíchání jednotlivých popílků.

Další možností je nahradit část plniva odpadem z výroby kamenné vlny. Bylo zjištěno, že separace odpadu je prakticky možná a dostačující. Dalším krokem výzkumu by mělo být otestování různých receptur.

Při náhradě dřeva jako plniva se jeví velmi výhodné použít odpadní konopné pazdeří. Testováno bylo 15 různých receptur, ze kterých byla vybrána jedna neoptimálnější. Poté byla vyrobena dutinová tvarovka, která měla dokonce o 35 % lepší tepelně izolační vlastnosti než při použití dřeva jako plniva. Použití konopí se v tomto případě jeví jako velmi výhodné.

Konopné pazdeří se dá také použít jako výplňová hmota pro svislé konstrukce. Bylo testováno celkem 6 různých receptur. Pojivo v tomto případě obsahovalo z větší části vápenný hydrát. Ten sloužil také jako mineralizátor a napomohl ke zvýšení konečných pevností a dlouhodobé trvanlivosti materiálu. Testované receptury měly podobné vlastnosti jako komerčně vyráběné výplňové hmoty (Tradical® HB).

Další výzkum se zabýval možnostmi využití eukalyptového a topolového dřeva. Zkoušely se směsi s různým poměrem těchto dvou dřevin. Při použití topolového dřeva se dosáhlo mnohem lepších fyzikálně mechanických vlastností. Tyto vlastnosti také rostly s rostoucím množstvím cementu ve směsi. Z grafů je dále patrné, že při použití 5 % CaCl_2 se dosáhlo lepších výsledků oproti 8 % CaCl_2 .

Jako alternativní zdroj organických plniv je možné použít staré dřevěné železniční pražce. Je potřeba si uvědomit, že pražce jsou chemicky ošetřené proti biologické degradaci, a tyto chemické látky mohou způsobovat problémy. Bylo zjištěno, že výsledné vlastnosti materiálů závisí na teplotě při lisování desek, a také na množství CaCl_2 . Obecně lze říci, že mechanické vlastnosti se snižují s nárůstem teploty při lisování a zvyšují se při vyšším obsahu CaCl_2 . Nejlepších hodnot se dosáhlo při teplotě lisování 25 °C a obsahu CaCl_2 7 %. Fyzikálně-mechanické vlastnosti cementových desek s dřevěnými železničními pražci jsou srovnatelné s komerčně vyráběnými deskami.

Pro další výzkum by bylo přínosné vyzkoušet i jiné organické odpady. Zejména se jedná o lněné pazdeří, slámu, seno, kukuřičné a slunečnicové plevy a další. Zajímavé by také bylo otestovat různé poměry mísení dalších alternativních surovin. Na téma substituce organických plniv v cementových kompozitech bylo zpracováno velké množství vědeckých článků. Některé články se zabývaly využitím různých exotických dřevin.

8. Závěr

Při používání organických surovin je možné získat materiály velmi zajímavých vlastností. Jako organická plniva se dají použít zejména druhotné suroviny, které by jinak nenašly uplatnění. Při použití těchto plniv v kombinaci s cementovým tmelem, je možné získat produkt přebírající vlastnosti obou použitých materiálů. Projevuje se zde tzv. synergický účinek. To znamená, že vlastnosti kompozitu jsou vyšší, než by odpovídalo prosté sumaci vlastností jednotlivých složek. Výsledný materiál je dostatečně pevný a lehký, odolává velmi dobře povětrnostním podmínkám a zároveň má dobré tepelně izolační a zvukově izolační vlastnosti.

V současné době se pro výrobu cementotřískových desek používají zásadně dřevěné třísky, které jsou vyráběny v závodě. Používá se jehličnaté dřevo, zejména smrkové. Dřevěné třísky by se daly velmi dobře substituovat konopným nebo lněným pazdeřím. Jedná se o surovinu, která v současnosti nemá velkého využití. Pazdeří má velmi podobné vlastnosti jako dřevo. Oproti dřevu ale odpadá složité zpracování, což vede ke snížení nákladů na výrobu. Další výhodou použití konopného pazdeří je, že konopí je jednoletá rostlina, což usnadňuje dostupnost a zvyšuje výtěžnost. Při zpracování konopí nevzniká žádný odpad, protože se využije celá rostlina.

Při výrobě cementotřískových desek se spotřebuje velké množství cementu. Výrobek obsahuje až 25 % cementu, který velmi prodražuje výsledný produkt. Proto jsou snahy nahradit část cementu popílkem, zejména popílkem vzniklým přímo ve výrobě. Bohužel takto vzniklý popílek nemá potřebné vlastnosti. Vhodnější by bylo použít fluidní popílek, který v současné době nachází stále více uplatnění ve stavebnictví. Část cementu by se mohla také nahradit vysokopecní granulovanou struskou, která má latentně hydraulické vlastnosti.

Pro zjištění vhodnosti substituce dřeva v cementotřískových deskách je potřeba sledovat vlastnosti požadované normou ČSN EN 634-2. Minimální objemová hmotnost $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, pevnost v tahu za ohybu větší než 9 MPa a modul pružnosti minimálně 4500 MPa. [22]

9. Literatura

- [1] CHYBÍK, J. Přírodní stavební materiály. 1. Vydání, Praha: Grada Publishing, 2009, 272 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [2] BODNÁROVÁ, L. Kompozitní materiály ve stavebnictví. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 122 s. ISBN 80-214-2266-1.
- [3] PYTLÍK, P. Vlastnosti a užití stavebních výrobků. Brno: VUTIUM, 1998, 399 s. ISBN 80-214-1123-6.
- [4] ADÁMEK, J. Stavební materiály. 1. vyd. Brno: CERM, 1997, 205 s. ISBN 80-214-0631-3.
- [5] HELA, R. Technologie betonu, Modul M01, BJ04 - Technologie Betonu I.
- [6] ČSN EN 197 – 1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.
- [7] MATOUŠEK, M. Lehké stavební látky II, 3. Vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1985, 130 s.
- [8] BÖHM, M. Materiály na bázi dřeva. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6.
- [9] STUPAVSKÝ, V., HOLÝ, T.: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] Vodní sklo [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.vodnisklo.cz/view.php?cisloaktuality=2009120702>>.
- [11] DRAHORÁDOVÁ, K. Cetris: nejrozšířenější cementotřískové desky v Evropě. Stavebnictví a interiér 10/2004 [online]. 2004, říjen [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/cetris-cementotriskove-desky>>.
- [12] Cetris [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://cetris.cz/rady-a-informace/vlastnosti-desek-cetris>>.

- [13] VACULA, M., KVAČ, M., MILDNER, R. Možnosti využití lehčeného kameniva při výrobě cementotřískové desky. Stavebnictví a interiér 10/2012 [online]. 2012, říjen [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/moznosti-vyuziti-lehceneho-kameniva-pri-vyrobe-cementotriskove-desky>>.
- [14] MELICHAR, T., BYDŽOVSKÝ, J., VACULA, M. Studium vlastností popílku vznikajícího jako vedlejší produkt při výrobě cementotřískových desek. [online]. 4. Února 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/deskove-materialy-na-bazi-dreva/9535-studium-vlastnosti-popilku-vznikajiciho-jako-vedlejsi-produkt-pri-vyrobe-cementotriskovych-desek>>.
- [15] VACULA, M., KVAČ, M., MILDNER, R. Využití odpadu z výroby kamenné vlny. [online]. 31. Července 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/vyuziti-odpadu-z-vyroby-kamenne-vlny-3167.html>>.
- [16] ZACHA, J., SEDLÁŘOVÁ, I. Možnosti využití odpadního konopného pazdeří při výrobě tepelně izolačních zdících tvarovek. Sborník konference RECYCLING 2008, s. 133 - 138, [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.arism.cz/dok/REC_08.pdf>.
- [17] KEPRDOVÁ, Š. Výplňové hmoty pro svislé konstrukce na bázi technického konopí, Juniorstav 2011, [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/4.2/Keprdova_Sarka_CL.pdf>.
- [18] ASHORI, A., TABARSA, T., AZIZI, K., MIRZABEYGI, R., Wood–wool cement board using mixture of eucalypt and poplar, Industrial Crops and Products, Volume 34, Issue 1, July 2011, Pages 1146-1149, ISSN 0926-6690, Dostupné z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669011001105>>.
- [19] ASHORI, A., TABARSA, T., AMOSI, F., Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood–cement composite materials, Construction and Building Materials, Volume 27, Issue 1, February 2012, Pages 126-129, ISSN 0950-0618, Dostupné z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181100448X>>.
- [20] BYDŽOVSKÝ, J., MELICHAR, T., BODNÁROVÁ, L., ČERNÝ, V., KEPRDOVÁ, Š., PROCHÁZKA, D., BJ56 – VYBRANÉ STATĚ Z TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH

- HMOT - STUDIJNÍ TEXT PRO CVIČENÍ. Brno 2011, 34 s. Dostupné z WWW: <http://thd.fce.vutbr.cz/soubory/files/bj56_vybrane_state_tech_stav_hmot/bj56_studijni_text.pdf>.
- [21] BYDŽOVSKÝ, J. Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukci, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007, 239 s.
- [22] ČSN EN 634-2: Cementotřískové desky - Specifikace - Část 2: Požadavky pro třískové desky spojené portlandským cementem pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí
- [23] Pine Sawdust, [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://cseng-jleng.com/work/pine-sawdust/>>.
- [24] Heraklith, [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.marmox.co.uk/products/heraklith>>.
- [25] Zelená úsporám [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.zelenausporam.cz/vyhledavani/vyrobek/SVT2338/deska-z-penoveho-polystyrenu-rigips-eps-100-s/>>.
- [26] PZservis [online]. [2013-05-14]. Dostupné z WWW: <http://www.pzservis.cz/izol_projektanti2/cidem/cetris%20zakl%20popis.htm>.
- [27] Cetris [online]. [2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.cetris.cz/rady-a-informace/vlastnosti-desek-cetris/>>.
- [28] Flax shives [online]. [2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://linenofdesna.com/en/produkcziya/kostra.html>>.
- [29] ZACH, J., SEDLÁŘOVÁ, I. Možnosti uplatnění technického konopí při výrobě tepelněizolačních materiálů. Imaterialy [online]. [2013-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.imaterialy.cz/Materialy/Moznosti-uplatneni-technickeho-konopi-pri-vyrobe-tepelneizolacnich-materialu.html>>.

10. Seznam použitých zkratek a symbolů

CEM I - portlandský cement

CEM II - portlandský cement směsný

CEM III - vysokopecní cement

CEM IV - pucolánový cement

CEM V - směsný cement

pH - potenciál vodíku

EPS - pěnový polystyren

THC - tetrahydrocannabinol

λ - součinitel tepelné vodivosti

W - vodní součinitel

MOR - pevnost v tahu za ohybu (modulus of rupture)

MOE – modul pružnosti (modulus of elasticity)

IB - pevnost v tahu kolmo na rovinu desky (internal bond)